

[First Hit](#)[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)[Generate Collection](#)[Print](#)

L2: Entry 3 of 6

File: JPAB

Apr 7, 1995

PUB-NO: JP407091948A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07091948 A

TITLE: NON-CONTACT TYPE FILM THICKNESS MEASURING APPARATUS

PUBN-DATE: April 7, 1995

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUBARA, HIROYUKI	
WADA, TAKASHI	
MATSUDA, MORIHIRO	

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC	

APPL-NO: JP05261810

APPL-DATE: September 24, 1993

INT-CL (IPC): G01 B 21/08; G01 B 11/06

## ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a non-contact type film thickness measuring apparatus which enables measurement at a high accuracy.

CONSTITUTION: It is so constituted to contain an eddy current sensor probe and an optical type sensor probe 14 both housed in a probe case and a signal processing section which determines a distance between a base body 100 and a film 110 based on outputs from the probes. The optical type sensor probe 14 is made up of a projection part 26 and a photodetecting part 28. The projection part 26 contains a laser diode (LD) 30, lenses 32 and 36 and an optical fiber 34. Light emitted from the LD30 propagates through the optical fiber 34 by way of the lens 32 and reaches the surface of the film 110 through the lens 36. A specified proper mode alone is selected when the light propagates through the optical fiber 34 and the center position of the intensity distribution thereof at the emission end coincides with that of the optical fiber 34 thereby making it possible to prevent changes in the position of the emission light.

COPYRIGHT: (C)1995, JPO

[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-91948

(43)公開日 平成7年(1995)4月7日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 B 21/08  
11/06

識別記号

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数5 FD (全12頁)

(21)出願番号 特願平5-261810

(22)出願日 平成5年(1993)9月24日

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1

(72)発明者 松原 弘幸

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 和田 隆志

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 松田 守弘

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

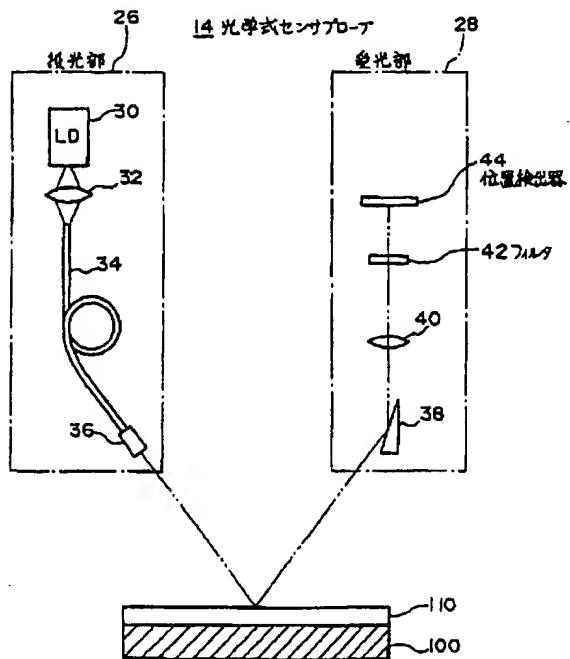
(74)代理人 弁理士 布施 行夫 (外2名)

(54)【発明の名称】 非接触式膜厚測定器

(57)【要約】

【目的】 高い精度で測定することができる非接触式膜厚測定器を提供すること。

【構成】 この非接触式膜厚測定器は、プローブケース内に収納された渦電流センサプローブ及び光学式センサプローブ14と、各プローブからの出力に基づき基体100および被膜110までの距離を求める信号処理部を含んで構成される。光学式センサプローブ14は、投光部26と受光部28とからなる。投光部26は、レーザダイオード(LD)30、レンズ32、36、光ファイバ34を含んでいる。LD30からの出射光は、レンズ32を介して光ファイバ34内を伝搬し、レンズ36を介して被膜110表面に到達する。光は、光ファイバ34を伝搬する際に所定の固有モードのみが選択され、また出射端での強度分布の中心位置は光ファイバ34の中心位置に一致するため、出射光の位置変動が防止される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】投光部と受光部とを含んでおり、導体上の絶縁物表面における光の反射を利用して前記絶縁物表面までの距離を測定する光学式センサと、

前記導体に発生する渦電流を利用して前記導体までの距離を測定する渦電流センサと、

前記光学式センサによって測定される距離と前記渦電流センサとによって測定される距離との差から前記絶縁物の膜厚を算出する膜厚算出手段とを備える非接触式膜厚測定器において、

前記光学式センサの投光部は、

前記絶縁物に対して光を照射するレーザ光源と、

前記レーザ光源から入射された光の中の所定の導波モードの光のみを通過させ、前記絶縁物表面に向け出射する光ファイバと、

を含むことを特徴とする非接触式膜厚測定器。

【請求項2】導体上の絶縁物表面における光の反射を利用して前記絶縁物表面までの距離を測定する光学式センサと、

前記導体に発生する渦電流を利用して前記導体までの距離を測定する渦電流センサと、

前記渦電流センサの温度を検出する温度センサと、

前記渦電流センサを加熱するヒータと

前記温度センサによって検出される前記渦電流センサの温度を前記ヒータによる加熱を行うことにより一定に維持する温度制御手段と、

前記光学式センサによって測定される距離と前記渦電流センサとによって測定される距離との差から前記絶縁物の膜厚を算出する膜厚算出手段と、

を備え、前記渦電流センサの温度を制御して温度ドリフトを防止しながら、前記絶縁物の膜厚測定を行うことを特徴とする非接触式膜厚測定器。

【請求項3】請求項2において、

前記温度制御手段による前記渦電流センサの温度調整は、前記ヒータに対する通電を断続することにより行い、

前記渦電流センサによる距離の測定は、前記ヒータに対する通電が中断したときに行うことを行なうことを特徴とする非接触式膜厚測定器。

【請求項4】導体上の絶縁物表面における光の反射を利用して前記絶縁物表面までの距離を測定する光学式センサと、

前記導体に発生する渦電流を利用して前記導体までの距離を測定する渦電流センサと、

前記渦電流センサの温度を検出する温度センサと、

前記渦電流センサを加熱するヒータと

前記温度センサによって検出される前記渦電流センサの温度を、前記ヒータに交流電流を流して加熱することにより一定に維持する温度制御手段と、

前記渦電流センサの出力に現れる前記ヒータの電流周波

数成分を除去する周波数成分除去手段と、

前記光学式センサによって測定される距離と、前記周波数成分除去手段によってヒータ電流の周波数成分が除去された前記渦電流センサの出力に基づいて測定される距離との差から前記絶縁物の膜厚を算出する膜厚算出手段と、

を備え、前記渦電流センサの温度を制御することにより温度ドリフトを防止することを特徴とする非接触式膜厚測定器。

10 【請求項5】請求項2～4のいずれかにおいて、

前記ヒータは、発熱用導体を1箇所あるいは複数箇所で折り返すことにより、あるいは偶数本の発熱用導体を組み合わせて用いることにより、隣接する前記発熱用導体を通電电流の向きが反対になるように配置して用いることを特徴とする非接触式膜厚測定器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、導電体上に被覆された絶縁物の厚さを測定する非接触式膜厚測定器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、導電性基体、例えば金属基体上に被覆された絶縁性被膜の膜厚を正確に測定するための種々の技術が公知であり、特に非接触式に膜厚測定を行う装置として、特開平1-136009号公報に開示された「非接触式膜厚測定器」や特開平1-143908号公報に開示された「薄膜厚測定器」が知られている。

【0003】上述した2つの公報に開示された各膜厚測定器は、いずれも基本原理は同じであり、導電性基体までの距離を基体上に発生する渦電流を利用して測定することにより電磁式センサで測定するとともに、絶縁性被膜までの距離を投光部と受光部とを有する光学式センサで測定する。そして、これらの各測定値の差から膜厚を求める。

【0004】これらの膜厚測定器を用いることにより、測定対象物に触れることなく、しかも測定対象物を破壊することなく膜厚測定を行うことができるというものである。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した非接触式膜厚測定器および薄膜厚測定器のそれは、概して測定精度が低く、高精度な非接触測定が行えないという問題があった。そのため、被測定膜厚が厚い場合や低い測定精度でも充分な場合に限り使用されていた。従って、例えば自動車の塗装工程においてその塗装膜厚を測定するような場合には、1μm程度の測定精度が必要であり、上述した従来の膜厚測定器では対応できなかった。

【0006】上述した従来の膜厚測定器における測定精度が低い主な理由は、電磁式センサと光学式センサという2種のセンサの動作原理、機能、性能が異なるため

に、測定範囲、測定距離、分解能・精度などが大きく異なることがある。このため、膜厚測定器全体の精度は、低い性能を有するセンサの精度により制限されることになる。

【0007】例えば、光学式センサとして三角測量式のものが周知でありよく用いられるが、被測定物である絶縁物までの距離、つまりその表面までの距離を正確に測定するには、照射されたレーザ光のうち表面反射するレーザ光のみを選択的に受光するタイプ（以下、このように投光系と受光系が被測定面の法線に対し対称の角度で配置されていている正反射光学系にあるものを「正反射タイプ」という。）の光学式センサである必要がある。ところが、一般的に用いられている光学式センサのほとんどはこのタイプではなく、絶縁物表面の法線上に投光系を配置し、この法線と一定の角度を有する方向に受光系を配置している。このため、絶縁物の表面下に潜り込んだビームスポットを受光・検出しておらず、表面までの距離を正確に測定していないため、測定精度が低くなっていた。

【0008】また、上述した正反射タイプの光学式センサであっても、被測定物表面までの距離を高精度に測定するには重大な問題がある。すなわち、光学式センサに用いられるレーザからのビーム光の出射方向が変動することにより、被測定物表面上に照射されるスポット位置が変動し、これにより出力変動つまり測定距離のばらつきが生じていた。このことは、サブミクロン以下の分解能が要求される高精度な測定を行う場合になって初めて無視できない問題となって明らかになったものであり、それ以前は問題点という認識すら無かったことである。

【0009】一方、電磁式センサの一つである渦電流センサでは、センサの先端が測定範囲の基準点となっておりこの基準点における電磁場の状態を検出している。従って、非接触式で使う場合には被測定物である絶縁物及び導電体から離さなければならず、どうしても測定範囲が大きくなってしまう。このことは、センサ出力のS/N比を低減させ、測定分解能及び測定精度の低下を引き起こす。

【0010】非接触式の渦電流センサに関するこれらの欠点を改善する方法としては、ノイズを徹底的に排除するとともに測定距離と出力の関係を厳密に把握することも考えられる。しかし、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の測定精度を有し、実用に耐えうる高精度な膜厚測定を実現するためには、このような対策をもってしても十分でないことが明らかになった。

【0011】以上より、従来の膜厚測定器では、塗装直後のウェット膜厚等を再現性良く、しかも高精度に測定することができず、このような測定が可能な非接触式かつ非破壊式の膜厚測定器が望まれていた。

【0012】本発明は、このような従来の課題に鑑みなされたものであり、高い精度で測定することができる非

接触式膜厚測定器を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段および作用】

第1発明

【構成】上述した課題を解決するために、請求項1の発明は、投光部と受光部とを含んでおり、導体上の絶縁物表面における光の反射を利用して前記絶縁物表面までの距離を測定する光学式センサと、前記導体に発生する渦電流を利用して前記導体までの距離を測定する渦電流センサと、前記光学式センサによって測定される距離と前記渦電流センサによって測定される距離との差から前記絶縁物の膜厚を算出する膜厚算出手段とを備える非接触式膜厚測定器において、前記光学式センサの投光部は、前記絶縁物に対して光を照射するレーザ光源と、前記レーザ光源から入射された光の中の所定の固有モードの光のみを通過させ、前記絶縁物表面に向け出射する光ファイバと、を含むことを特徴とする。

【0014】上述した構成を有する請求項1に係る非接触式膜厚測定器は、従来の膜厚測定器がレーザからのビーム光の出射方向が変動することにより、被測定物表面上に照射されるスポット位置が変動して測定距離のばらつきが生じていた点に着目し、この点を改善したものである。

【0015】すなわち、レーザから出射するビーム光の変動そのものを無くすことは原理的に不可能であるため、結局、投光系の出射端からのビーム光の位置変動を制御するようにしたものである。具体的には、通常は光通信などで光を伝達するために用いられている光ファイバを利用し、その幾何学的構造に起因する光の閉じ込め作用により所定の固有モード（導波モード）の光のみを通過させることによって、出射ビーム光の位置変動を低減し、これにより測定精度を上げようというものである。

【0016】上述した構成において、光ファイバは、シングルモード光ファイバを用いることが望ましく、その長さは例えば数100mm程度とすることができる。

【0017】また、膜厚算出手段は、最も簡単な場合には、導体までの距離から絶縁物までの距離を減算することにより、絶縁物の膜厚を求めることができる。

【作用】請求項1の発明は以上の構成からなり、次に、その作用を説明する。

【0018】光学式センサの投光部において、レーザ光源から光を照射すると、この照射された光は光ファイバを通った後絶縁物に向けて一定の入射角 $\theta$ をなすように出射される。

【0019】例えば、光ファイバの一方端である入射端近傍にマイクロレンズからなる投光レンズを設け、他方端である出射端近傍に同様にマイクロレンズからなる受光レンズを設ける。これにより、レーザ光源から照射された光が投光レンズによりほぼ一定に集光されて光ファ

イバの入射端に入射され、光ファイバ内を伝送された後に光ファイバの出射端から出射される。さらに、出射された光が受光レンズによって平行ビームとなって絶縁物表面に入射角 $\theta$ で照射され、ごく狭い範囲のスポットを形成する。

【0020】このスポット部分で反射された光は、その後受光部に入射され、受光部内の位置検出器上に結像が生じる。このようにして生じた結像の位置に基づいて、三角測量の原理により絶縁物までの距離が求められる。

【0021】特に、上述した投光部に所定の固有モードのみの光を通過させるシングルモードの光ファイバを用いることにより、ある固有モード以外の光は伝送される途中において減衰し、所定の固有モードの光のみが通過してその出射端から絶縁物に向けて照射されることになる。このため、出射光の重心位置が光ファイバの中心に一致するため出射方向が安定し、絶縁物上に生じる照射スポットの光量重心も安定し、受光部内の位置検出器上に結像するスポット重心も安定することになり、この像に基づいて絶縁物表面までの距離が求められる。

【0022】一方、渦電流センサを用いることにより、導体上に発生する渦電流を利用して導体表面までの距離が求められる。

【0023】膜厚算出手段は、このようにして求めた2つの距離に基づいて、最も簡単な場合には、導体までの距離から絶縁物までの距離を減算することにより、絶縁物の膜厚を算出する。

【発明の効果】以上説明したように、請求項1の発明によれば、投光部に所定の固有モードの光のみを通過させる光ファイバを含み、レーザ光源から照射した光をこの光ファイバ内を通した後に絶縁物に向け出射させることにより、この出射光の出射方向の変動を防止して、正確に絶縁物表面までの距離を測定することができる。従って、この正確な絶縁物表面までの距離に基づいて、絶縁物の膜厚を高い精度で測定することができる。

【0024】他の発明

【構成】また、上述した課題を解決するために、請求項2の発明は、導体上の絶縁物表面における光の反射を利用して前記絶縁物表面までの距離を測定する光学式センサと、前記導体に発生する渦電流を利用して前記導体までの距離を測定する渦電流センサと、前記渦電流センサの温度を検出する温度センサと、前記渦電流センサを加熱するヒータと前記温度センサによって検出される前記渦電流センサの温度を前記ヒータによる加熱を行うことにより一定に維持する温度制御手段と、前記光学式センサによって測定される距離と前記渦電流センサとによって測定される距離との差から前記絶縁物の膜厚を算出する膜厚算出手段と、を備え、前記渦電流センサの温度を制御して温度ドリフトを防止しながら、前記絶縁物の膜厚測定を行うことを特徴とする。

【0025】請求項3の発明は、請求項2の発明において

て、前記温度制御手段による前記渦電流センサの温度調整は、前記ヒータに対する通電を断続することにより行い、前記渦電流センサによる距離の測定は、前記ヒータに対する通電が中断したときに行うことを特徴とする。

【0026】請求項4の発明は、導体上の絶縁物表面における光の反射を利用して前記絶縁物表面までの距離を測定する光学式センサと、前記導体に発生する渦電流を利用して前記導体までの距離を測定する渦電流センサと、前記渦電流センサの温度を検出する温度センサと、前記渦電流センサを加熱するヒータと前記温度センサによって検出される前記渦電流センサの温度を、前記ヒータに交流電流を流して加熱することにより一定に維持する温度制御手段と、前記渦電流センサの出力に現れる前記ヒータの電流周波数成分を除去する周波数成分除去手段と、前記光学式センサによって測定される距離と、前記周波数成分除去手段によってヒータ電流の周波数成分が除去された前記渦電流センサの出力に基づいて測定される距離との差から前記絶縁物の膜厚を算出する膜厚算出手段と、を備え、前記渦電流センサの温度を制御することにより温度ドリフトを防止することを特徴とする。

【0027】請求項5の発明は、請求項2～4のいずれかにおいて、前記ヒータは、発熱用導体を1箇所あるいは複数箇所で折り返すことにより、あるいは偶数本の発熱用導体を組み合わせて用いることにより、隣接する前記発熱用導体を通電電流の向きが反対になるように配置して用いることを特徴とする。

【0028】上述した請求項2～5の各発明は、渦電流センサが使われる環境、特に周囲の僅かな温度変動が高精度測定に悪影響をもたらす支配的な要因であることに着目し、これらの点を改善したものである。

【0029】そもそも渦電流センサは、内蔵されたコイルに高周波電流を与え、導電体との距離に応じた磁界及び電界の変化をコイルのインダクタンスの変化として検出するものであって電磁気的に非常に敏感なものである。従って、渦電流センサ近傍にヒータを配置するといった電磁気的に影響を与えることは好ましくないとされていた。ところが、温度変動による悪影響を防止して高精度化を実現するには、渦電流センサに対して積極的に温度制御を施さなければならず、しかも、渦電流センサ本来の動作や機能を保たなければならないという相反する要求を満たす必要があった。このために種々の実験・検討を行った結果、いくつかの手法により上記相反する要求を満たすことができる事が判明した。

【0030】一つの方法は、渦電流センサ（例えば渦電流センサ内の測定プローブ部のみ、あるいは測定プローブ部とこの測定プローブ部の出力電圧を増幅するアンプ部の両方）にヒータを配置し、ヒータ電流をオンオフすることにより、渦電流センサを常温よりも高い一定温度に保つようにする。そして、ヒータ電流オフ時を捕らえて測定信号の取り込みを行う方法である。

5

イバの入射端に入射され、光ファイバ内を伝送された後に光ファイバの出射端から出射される。さらに、出射された光が受光レンズによって平行ビームとなって絶縁物表面に入射角 $\theta$ で照射され、ごく狭い範囲のスポットを形成する。

6

て、前記温度制御手段による前記渦電流センサの温度調整は、前記ヒータに対する通電を断続することにより行い、前記渦電流センサによる距離の測定は、前記ヒータに対する通電が中断したときに行うことを特徴とする。

【0026】請求項4の発明は、導体上の絶縁物表面に

7

【0031】他の方法は、同様に渦電流センサにヒータを配置し、ヒータ電流としてある一定の周波数の交流電流を流す。この交流電流の振幅を制御することにより、渦電流センサを常温よりも高い一定温度に保つようになる、そして、渦電流センサの処理回路部にヒータ電流の

8

【0037】請求項4の非接触式膜厚測定器では、渦電流センサに装着されているヒータに交流電流を流すことにより加熱を行っており、温度制御手段は、この交流電流の振幅（すなわちヒータに印加する交流電圧の振幅）を現在の渦電流センサの温度と設定温度との差に応じて

は、基体100上に被覆された被膜110の膜厚を高精度に測定するものである。基体100は導体により形成されており、被膜110は絶縁体により形成されている。

【0017】この非接触式膜厚測定器は、プローブケー

定信号Sdとして外部及び表示部18に向け出力する。このように、外部に信号Sdを出力することにより、この測定信号Sdに基づいて塗装ラインの自動制御を行ったり、その他各種用途に広く用いることが可能になる。

【0054】表示部18は、信号処理部16から出力

11

光ファイバの中心〇に一致する。従って、固有モードの異なる複数種類の光波の重ね合わせで表される光波の光強度重心位置も常に光ファイバ中心に位置する。すなわち、光ファイバ34の出射端における光強度重心位置は光ファイバ34の中心に位置し変動しない。その結果、

12

て、図4のような従来の投光系ではサブ $\mu$ mの高分解能測定を達成することは困難であった。

【0066】また、図2に示した本実施例の受光部28は、被覆110からの反射光を全反射するミラー38と、このミラー38によって全反射された光を集め

13

は温度調整器54からはレリー52内のリレー接点のオンオフ状態を示すオンオフ信号Skを出力しており、このオンオフ信号Skを渦電流センサプローブ12の出力Saとともに上述した信号処理部16に送っている。

【0079】信号処理部16は、入力されるオンオフ信

14

6内のアンプ20に入力される。

【0081】なお、信号処理部16内のアンプ20を一定温度に制御するために設けられた温度制御装置24も図7に示した温度制御装置22と同じ構成とすることができる。但し、アンプ20の動作が周辺の電源に依存する

15

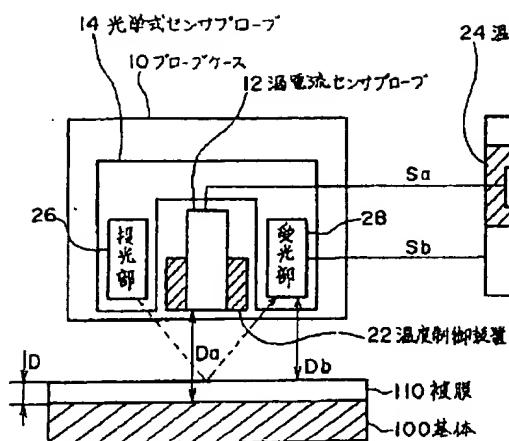
に、ヒータ46に対する通電を中断した後に基体100までの距離を測定する。

【0089】(2) ヒータ46に一定周波数の交流電流を流し、この交流電流の振幅を可変に制御することにより渦電流センサプローブ12の温度を一定に保つとともに

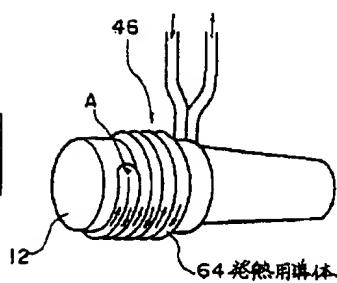
16

径が $\phi 6\mu\text{m}$ 、クラッド径が $\phi 125\mu\text{m}$ 、長さが1mのシングルモードファイバを用い、ファイバ出射端にセルフォックレンズ36を配置した。実際に塗板130上での照射スポットサイズを測定したところ約 $0.2\text{mm}$ であった。また、受光部28の結像倍率は約1倍であ

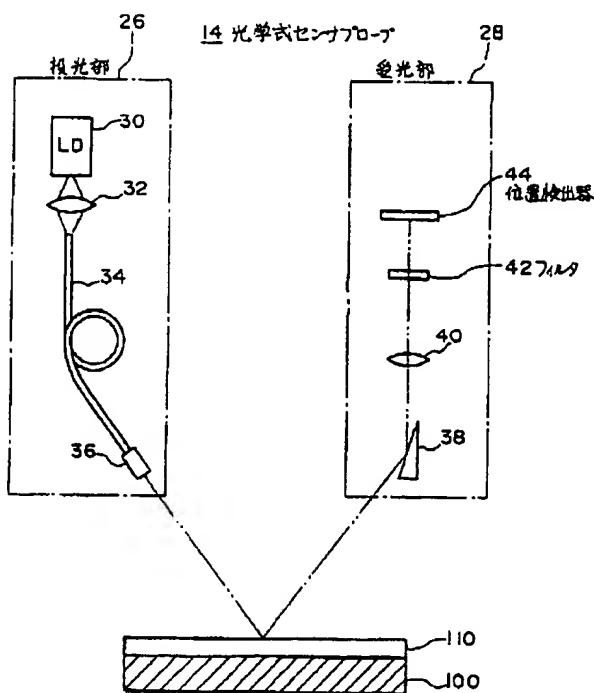
【図1】



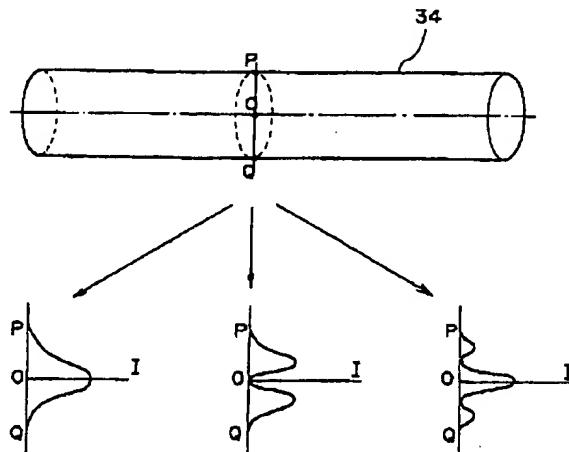
【図8】



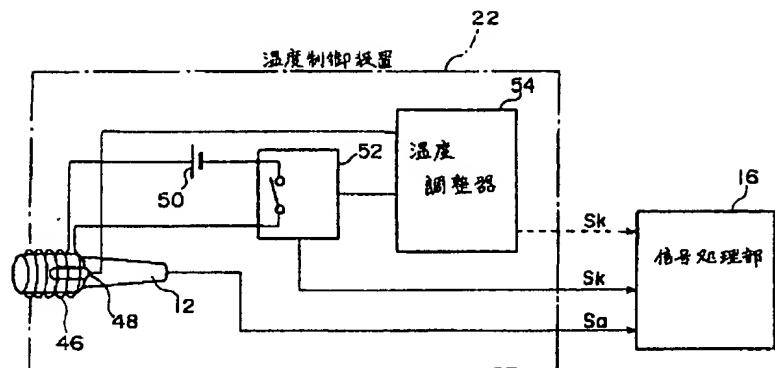
【図2】



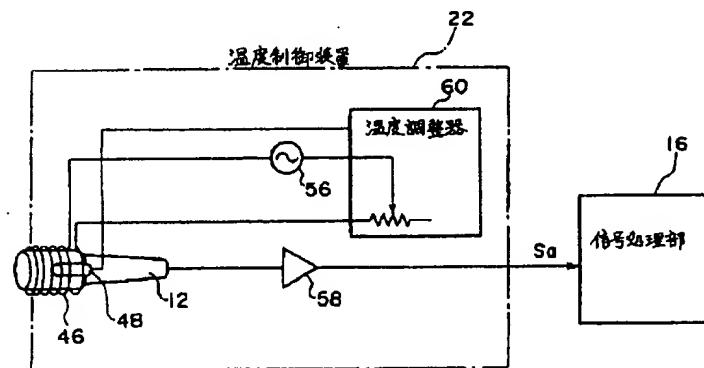
【図5】



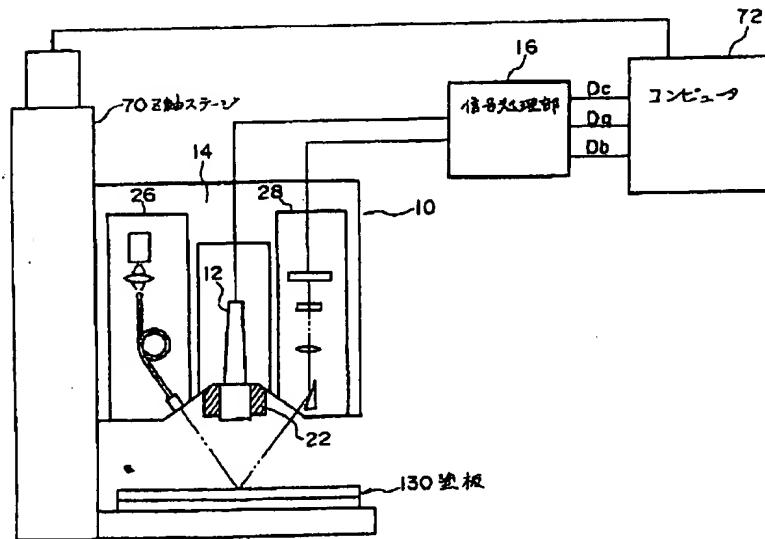
【図6】



【図7】



【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**